

Determining electromagnetic wave absorption capacity of medium for detecting inclusions in medium involves radiating radar wave into medium, analyzing received cross-talk signal

Patent number: DE19915016

Publication date: 2000-05-04

Inventor: LIEDTKE STEFAN (AT); TICHY STEFAN (AT)

Applicant: HILTI AG (LI)

Classification:

- **international:** G01V3/12; G01V3/12; (IPC1-7): G01V3/12

- **european:** G01V3/12

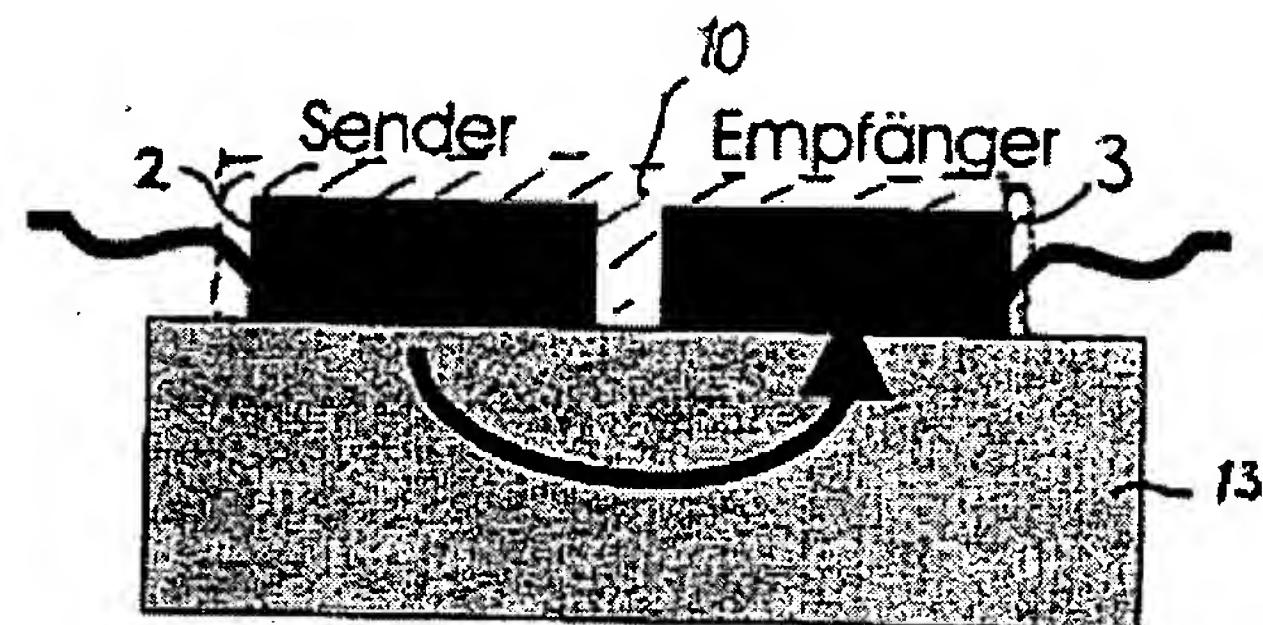
Application number: DE19991015016 19990401

Priority number(s): DE19991015016 19990401; DE19981061055 19981015

[Report a data error here](#)

Abstract of DE19915016

The method involves radiating a radar wave via a transmitting antenna (2) of a fixed antenna unit through a boundary surface into the medium and detecting a cross-talk signal with the receiver antenna (3) adjacent to the transmission antenna. The cross-talk signal is analyzed using an algorithm, after processing and digitization, to determine the relative dielectric constant of the medium. An Independent claim is also included for an electromagnetic sensor for detecting foreign inclusions in a medium.



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide



⑫ Offenlegungsschrift
⑩ DE 199 15 016 A 1

⑮ Int. Cl. 7:
G 01 V 3/12

⑯ Aktenzeichen: 199 15 016.8
⑯ Anmeldetag: 1. 4. 1999
⑯ Offenlegungstag: 4. 5. 2000

⑯ Innere Priorität:
198 61 055. 6 15. 10. 1998

⑯ Anmelder:
Hilti AG, Schaan, LI

⑯ Vertreter:
Patentanwälte MÜLLER & HOFFMANN, 81667
München

⑯ Erfinder:
Liedtke, Stefan, Rankweil, AT; Tichy, Stefan,
Feldkirch-Tisis, AT

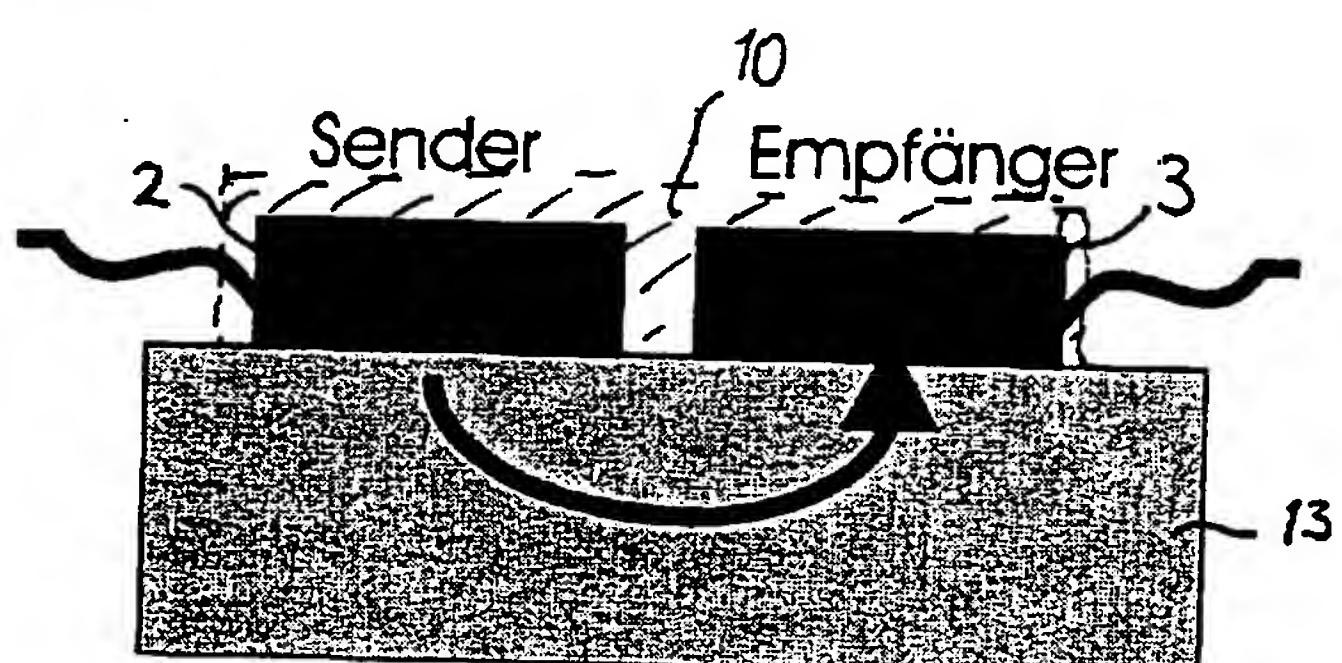
Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑯ Verfahren zur Bestimmung der Absorptionsfähigkeit eines Mediums für elektromagnetische Wellen und
Sensor zur Erkennung von Fremdeinschlüssen in dem Medium

⑯ Das Verfahren zur Bestimmung der Absorptionsfähigkeit eines Mediums für elektromagnetische Wellen in be-
stimmten Medien, insbesondere Beton, Gips, Holz und
dergleichen, sieht gemäß der Erfindung vor, eine Radar-
welle über eine Sendeantenne (2) in das zu untersuchen-
de Medium (13) einzustrahlen und das Übersprechsignal
zu einer benachbart angeordneten Empfangsantenne (3)
zu erfassen. Aus diesem Übersprechsignal wird nach Vor-
verstärkung und Zeitkorrektur sowie Digitalisierung die
relative Dielektrizitätskonstante des Mediums mittels ei-
nes Algorithmus analysiert, wobei vorzugsweise Maxi-
ma- und Minimavergleiche, Vergleiche von Laufzeitunter-
schieden und/oder eine Analyse mittels eines autoregres-
siven Modells (AR-Modell) zur Anwendung kommen.

Die Erfindung hat den Vorteil, daß vor einer Messung zur
Fremdkörperbestimmung mittels eines elektromagneti-
schen Sensors zunächst das zu untersuchende Medium
bestimmt wird, so daß nach einer Tiefenskalierung unter
Verwendung der zunächst bestimmten Dielektrizitätskon-
stante eine Optimierung der Leistung der für die eigentli-
che Messung verwendeten Radarimpulse gewährleistet
werden kann.



Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bestimmung der Absorptionsfähigkeit eines bestimmten Mediums für elektromagnetische Wellen.

5 Die Erfindung bezieht sich außerdem auf einen elektromagnetischen Sensor zum Erkennen von Fremdkörpereinschlüssen in durch Flächen umgrenzten Medien, insbesondere Beton, Ziegelwerk, Gips, Holz oder auch Gasen, der mit einer während einer Erkennungsmessung auf eine Begrenzungsfläche des Mediums aufzusetzenden Sende- und Empfangseinheit für (eine) Radarwelle(n) ausgerüstet ist.

Radargeräte für geodätische Anwendungen, also insbesondere Bodenradargeräte oder GPR-Systeme (GPR = Ground Penetrating Radar) sind im Stand der Technik bekannt. Solche Geräte senden die für eine Messung benötigten elektromagnetischen Wellen ständig aus, sobald ein Meßvorgang ausgelöst worden ist. Reicht die für bestimmte Materialuntersuchungen erforderliche Abstrahlleistung, beispielsweise eines eingesetzten Impulsradargeräts nicht aus, so kann der Gerätebenutzer innerhalb vorgegebener Grenzen nach Gutdünken die Sendeleistung erhöhen. Schon aus Sicherheitsgründen wäre es jedoch erwünscht, vor der eigentlichen Messung zur genauen Untersuchung des Mediums, insbesondere zum Aufspüren von innerhalb des Mediums enthaltenen Fremdkörpern, eine Information darüber zu erhalten, ob und gegebenenfalls welche Art von elektromagnetische Energie absorbierendem Material sich an bzw. unter einer durch den elektromagnetischen Sensor zu untersuchenden Fläche bzw. einem Flächenabschnitt befindet.

Zu dieser grundsätzlichen Aufgabenstellung kommt ein weiterer sicherheitsrelevanter Aspekt hinzu: Die von der Sendeantenne abzustrahlende Leistung für einen bestimmten Meßvorgang sollte ohne vorherige Abschätzung des Absorptionsvermögens des zu untersuchenden Mediums nicht freigegeben werden. Prinzipiell naheliegend wäre es natürlich, einen Kontaktschalter in die Sendeantenne oder die Baueinheit aus Sende- und Empfangsantenne zu integrieren. Dieser Kontaktschalter würde zwar dann das Aufsetzen der Antenneneinheit auf eine Begrenzungsfläche eines zu untersuchenden Mediums registrieren, aber nicht erkennen, ob dieses Material die ausgesandte Strahlung absorbiert, so daß unter Umständen, beispielsweise wenn Hohlräume vorhanden sind, eine Radarimpulswelle viel zu großer Leistung abgegeben wird, was aus vielerlei Sicherheitsgründen unerwünscht ist.

Der Erfindung liegt damit die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und eine Einrichtung zu schaffen, die beispielsweise für GPR-Systeme, insbesondere aber für elektromagnetische Sensoren zur Untersuchung von durch Flächen umgrenzten Medien, wie Beton, Gips, Ziegelwerk, usw., sicherstellt, daß eine zumindest grobe Analyse des Absorptionsvermögens des betreffenden Mediums für elektromagnetische Strahlung erfolgt, bevor durch eine in ihrer Leistung dann richtig wählbare Radarpulswelle ein eigentlicher Meßvorgang durchgeführt wird.

Die Erfindung ist bei einem Verfahren zur Bestimmung der Absorptionsfähigkeit eines Mediums für elektromagnetische Wellen gemäß der Erfindung dadurch gekennzeichnet, daß eine Radarwelle über die Sendeantenne einer Sende- und Empfangseinheit (im folgenden auch "Antenneneinheit") durch eine Begrenzungsfläche in das Medium eingestrahlt und ein Übersprechsignal durch die zur Sendeantenne benachbart angeordnete Empfangsantenne erfaßt wird und daß das Übersprechsignal nach Voraufbereitung und Digitalisierung zur Bestimmung der relativen Dielektrizitätskonstante des Mediums mittels eines Algorithmus' analysiert wird.

Gegenüber dem in Lit. [1] als Anregung enthaltenen Vergleichsverfahren zeichnet sich der Erfindungsgedanke dadurch aus, daß die Messung nicht transmissiv, also durch das Medium hindurch erfolgt, sondern in oberflächennahen Flächenbereichen des für einen kurz nachfolgend oder praktisch zeitgleich vorgesehenen Bearbeitungsvorgang, z. B. mittels Bohrhammer bestimmten Mediums. Es braucht also nicht, wie bei dem in Lit. [1] beschriebenen Absorptionsverfahren, eine separate Probe des Mediums (z. B. Beton) vorbereitet und in einer aufwendigen Radarmeßeinrichtung untersucht werden.

Der für die Signalanalyse zur Bestimmung des Absorptionsvermögens des Mediums für elektromagnetische Wellen, also zur Bestimmung der relativen Dielektrizitätskonstante eingesetzte Algorithmus kann auf verschiedenen Prinzipien aufgebaut sein. Beispielsweise kann vorgesehen werden, im zeitlichen Verlauf des hinsichtlich seiner Verstärkung korrigierten und tiefpaßgefilterten und sodann digitalisierten Übersprechsignals mindestens ein Amplitudenmaximum und mindestens ein Amplitudenminimum zu ermitteln und zur Bestimmung der Art des untersuchten Mediums deren jeweiliges Verhältnis zu einem jeweils zugeordneten Referenzmaximum bzw. Referenzminimum zu bilden.

Eine andere Analysemöglichkeit besteht darin, im zeitlichen Verlauf des wiederum voraufbereiteten und digitalisierten Übersprechsignals die Zeitdifferenz zwischen zwei Maxima und/oder zwei Minima zu ermitteln und zur Bestimmung der Art des untersuchten Mediums diese Zeitdifferenz gegen eine entsprechende Zeitdifferenz eines auf ein bekanntes Medium bezogenen Referenzsignals zu vergleichen.

Eine weitere Analysemöglichkeit zur Bestimmung der Art des untersuchten Mediums besteht darin, ein autoregressives Modell aus dem Übersprechsignal im Zeitbereich zu bilden mit anschließender Darstellung in der s-Ebene, d. h. die fourier- oder laplacetransformierter Darstellung des digitalen, diskreten Signals und Vergleich der Frequenz- und/oder Dämpfungswerte gegenüber vorgegebenen Vergleichswerten, wie im beigefügten Patentanspruch 4 definiert. Vorzugsweise eignet sich hierfür ein autoregressives Modell zweiter Ordnung als Bewertungsalgorithmus.

Der im Patentanspruch 6 angegebene elektromagnetische Sensor mit Vorabbestimmung der Absorptionsfähigkeit des zu untersuchenden Mediums gemäß der Lehre der Erfindung hat den entscheidenden Anwendungsvorteil, daß vor Auslösung eines eigentlichen Meßvorgangs sichergestellt ist, daß die abgegebene Strahlung im zu untersuchenden Material auch tatsächlich absorbiert wird. Die eigentliche Meßstrahlung, also die für einen Untersuchungsvorgang in das Medium abgegebenen Radarpulse können dann hinsichtlich ihrer Leistung optimal auf das zu untersuchende Medium abgestimmt werden.

Die Erfindung und vorteilhafte Einzelheiten werden nachfolgend unter Bezug auf die Zeichnungen in einer beispielweisen Ausführungsform näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 die Prinzipskizze einer Sende- und Empfangseinheit eines radarbasierten Sensors zur Untersuchung von Medien;

Fig. 2 den prinzipiellen Hardware-Aufbau eines Impuls-Radargeräts zur Entdeckung von Fremdkörpern in Medien;

Fig. 3 das Funktionsablaufdiagramm zum Betrieb eines elektromagnetischen Sensors, beispielsweise zur Erkennung von Fremdkörpereinschlüssen in Medien, bei dem zunächst gemäß der Erfindung eine Bestimmung des Absorptionsvermögens des untersuchten Mediums erfolgt;

Fig. 4 Meßdiagramme zur abschätzenden Bestimmung des Absorptionsvermögens eines untersuchten Mediums; und

Fig. 5 das Ergebnis einer Auswertung einer Signalanalyse unter Anwendung eines autoregressiven Modells des Übersprechsignals zwischen der Sende- und Empfangsantenne eines auf unterschiedliche Medien aufgesetzten elektromagnetischen Sensors.

Bei Sensoren zur elektromagnetischen Untersuchung von Medien, etwa GPR-Sensoren, die mit Radarsystemen mit getrennter Sende- und Empfangsantenne 2, 3 innerhalb einer Sende- und Empfangseinheit 10 arbeiten, kommt es bei der Aussendung von Wellen im Mikrowellenbereich, also beispielsweise bei der Aussendung einer Radarimpulswelle, zu einem in Fig. 1 durch einen Pfeil angedeuteten Übersprechsignal von der Sendeantenne 2 zur Empfangsantenne 3. Durch gezielt ausgewählte Bewertung und/oder durch bestimmte, nachfolgend durch Beispiele erläuterte Signalverarbeitungsalgorithmen ist es gemäß der Erfindung möglich, dieses Übersprechsignal zu nutzen, um eine Information zu erhalten, ob sich unter der Antenneneinheit 10 ein die elektromagnetischen Wellen absorbierendes Medium 13 befindet.

Das Funktionsprinzip eines Impulsradargeräts, das neben Stepped-Frequency-Radar auch vorliegend im Vordergrund des Interesses steht, wird anhand der Fig. 2 kurz beschrieben: Durch einen getakteten Hochfrequenzgenerator 1 wird ein sehr kurzer Impuls mit einer Länge bzw. Dauer von weniger als 1 ns erzeugt. Dieser Impuls wird durch die Antenne 2 als elektromagnetische Welle in das zu untersuchende Medium 13 (z. B. Beton) eingestrahlt. An Dielektrizitätssprüngen, z. B. an den Übergängen von Beton/Armierungseisen oder Beton/Plastikrohr wird/werden die elektromagnetische(n) Welle(n) reflektiert. Diese Reflexion wird durch die Empfangsantenne 3 aufgenommen, über einen durch eine Abtaststeuerung 7 zeitabhängig steuerbaren HF-Verstärker 4 verstärkt, sodann nach Bandpaßbegrenzung einer Abtast-/Halteschaltung 5 zugeführt, um anschließend durch einen A/D-Wandler 6 digitalisiert und schließlich über einen Ausgang A einer Signalverarbeitung zugeführt zu werden. Die gesamte Schaltungsanordnung oder zumindest die Sende- und die Empfangsantenne 2, 3 sind in einer handlichen Baueinheit zur Antenneneinheit 10 zusammengefaßt.

Wird nun eine Messung nach Aufsetzen der Antenneneinheit 10 auf eine Begrenzungsfläche des zu untersuchenden Mediums 13 gestartet, so ist die (zunächst) abgestrahlte Leistung der Sendeantenne 2 auf ein Maß reduziert, um eine Detektion des unter der Antenneneinheit 10 befindlichen Mediums 13 gerade noch ausführen zu können. Mit dieser reduzierten Leistung wird normalerweise genau eine GPR-Messung durchgeführt.

Das Übersprechsignal wird als Meßsignal über die Empfangsantenne 3 aufgenommen, und es wird zunächst die zeitabhängige Verstärkung im HF-Verstärker 4 kompensiert und die Daten werden tiefpaßgefiltert.

Die Fig. 4 veranschaulicht die aufgrund des Übersprechsignals erhaltenen Meßsignale einer Messung in Luft (Kurve a) für ein nichtabsorbierendes Medium und in Beton (Kurve b) für ein absorbierendes Medium. Für die Bestimmung, welche Art von Medium sich unter der Antenneneinheit 10 befindet, werden nachfolgend – ohne Einschränkung des grundsätzlichen Erfindungsgedankens – drei Verfahrensmöglichkeiten beschrieben.

Amplitudenverhältnisse

Im Signal der Kurve b in Fig. 4 werden die Signalstärken der Maxima B1, B2 bestimmt und gegen die Signalstärken von Referenzamplitudenmaxima A1, A2 der Kurve a des nichtabsorbierenden Mediums verglichen. Diese Referenzmaxima können z. B. aus einer Look-up-Tabelle aufgerufen werden. Aus den Verhältnissen B1/A1 und B2/A2 lässt sich die Art des untersuchten Mediums bestimmen.

Zeitdifferenzen

In den Signalverläufen der Fig. 4 werden die zeitlichen Positionen der Maxima B1, B2 bestimmt. Die Zeitdifferenz $\Delta t_1 = t(B2) - t(B1)$ wird gegen eine – in der Regel gespeicherte – Referenzzeitdifferenz $\Delta t_r = t(A2) - t(A1)$ verglichen. Aus dem Ergebnis des Vergleichs lässt sich die Art des untersuchten Mediums bestimmen.

Autoregressive (AR-)Modelle

Vom digitalisierten Übersprechsignal im Zeitbereich wird ein autoregressives Modell (AR-Modell) bestimmter, vorzugsweise niedriger, beispielsweise zweiter Ordnung

$$H(z) = \frac{1}{A(z)} = \frac{1}{1 + \sum_{v=1}^n a_v \cdot z^{-v}} \quad (\text{Gl. 1}),$$

welches zu den Verfahren der parametrischen Spektralabschätzung gehört, gebildet und daraus wird die Art des zu analysierenden Mediums extrahiert. Die über ein Programm errechneten Koeffizienten a_v führen mittels der Gl. 1 zu den konjugiert komplexen Polen der Funktion $H(z)$ in der z -Ebene, welche die transformierte Darstellung des digitalen Signals wiedergibt. Diese Pole werden dann in der s -Ebene; $s = \sigma + j\omega$, also der fourier- oder laplacetransformierten Darstellung des analogen Signal wiedergegeben, woraus dann eine Frequenz ω resultiert, die von den elektrischen Eigenschaften des untersuchten Mediums 13 abhängig ist.

In der Fig. 5 sind die über das AR-Modell errechneten Frequenzen ω aufgrund verschiedener Messungen auf bzw. in dem absorbierenden Medium Beton einerseits und in Luft (nichtabsorbierend) andererseits auf der Abszisse aufgetragen. Auf der Ordinate dagegen ist die relative Dielektrizitätskonstante ϵ_r dieser gleichen Medien aufgetragen. Mit der Grenz-

frequenz ω_g ist eine eindeutige Unterscheidung in absorbierende (x) und nichtabsorbierende (o) Materialien gegeben. Die Werte für das untersuchte Medium Beton (x) variieren hinsichtlich der Frequenz ω und ihrer relativen Dielektrizitätskonstante (Permittivität) ϵ_r in Abhängigkeit von der Zusammensetzung des Beton und insbesondere in Abhängigkeit vom jeweiligen Wassergehalt.

5 Das Flußdiagramm der Fig. 3 veranschaulicht den Funktionsablauf bei Anwendung eines elektromagnetischen Sensors, der auf dem Prinzip der Erfindung basiert, d. h. also, wenn vor Beginn einer eigentlichen Messung, beispielsweise zur Ermittlung der Art und Lage von Fremdeinschlüssen, wie Armierungseisen, Rohre und dergleichen in Beton oder Mauerwerk, eine wenigstens ungefähre Abschätzung des zu untersuchenden Mediums hinsichtlich seiner Absorptionsfähigkeit für elektromagnetische Wellen erfolgt.

10 Das Sensorsystem läßt sich im Schritt S1 erst einschalten, wenn die Antenneneinheit 10 auf eine entsprechende Begrenzungsfläche aufgesetzt und ein vom Benutzer vorzugsweise nicht beeinflußbarer Sicherheitsschalter aktiviert worden ist. Nach dem Einschalten ist zunächst die über die Sendeantenne 2 abzustrahlende Leistung eines Radarimpulses so abgesenkt, daß gerade noch eine sichere Detektion des unter der Antenneneinheit 10 befindlichen Mediums 13 erfolgen kann. Im Schritt S3 läuft dann dieser eine Meßvorgang zur Medienbestimmung ab, der im Schritt S4 einer Auswertung 15 unterzogen wird. Ergibt sich, daß die Antenneneinheit 10 sich auf einem absorbierenden Medium befindet, so wird – vorzugsweise in Abhängigkeit des festgestellten Mediums – die Leistung der abzustrahlenden Radarwelle(n) im Schritt S5 entsprechend erhöht. Es kann eine oder es können mehrere Messung(en) im Schritt S6 durchgeführt werden. Zum Meß- und Auswertungsablauf gehört insbesondere eine Abschätzung der Tiefe des von einem zu erfassenden Fremdkörper stammenden Reflexionssignals basierend auf einer Laufzeitbestimmung über die Formel

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}}$$

worin mit c die Lichtgeschwindigkeit und mit ϵ_r die zuvor gemäß der Erfindung bestimmte Dielektrizitätskonstante des Mediums bezeichnet sind. Ergibt sich im Schritt S4, daß die Antenneneinheit 10 auf ein nichtabsorbierendes Medium, beispielsweise eine "Pappwand" aufgesetzt wurde, so erhält der Bediener als Schritt S7 einen Hinweis. Ein Abtastvorgang, beispielsweise zur Ermittlung von Fremdkörpereinschlüssen im zu untersuchenden Medium, wie in der Patentanmeldung DE 198 47 688.4 beschrieben, wird dann unterbunden.

30 Literaturliste

Lit. [1]: I.J. Padaratz et al., Coupling Effects of Radar Antenna on Concrete, veröffentlicht in Konferenz-Dokumente "Non-Destructive Testing in Civil Engineering", NDT-CE'97, Band 1, S. 237–245

35 Patentansprüche

1. Verfahren zur Bestimmung der Absorptionsfähigkeit eines Mediums für elektromagnetische Wellen, dadurch gekennzeichnet, daß eine Radarwelle über eine Sendeantenne (2) einer ortsfest gehaltenen Antenneneinheit (10) durch eine Begrenzungsfläche in das Medium (13) eingestrahlt und ein Übersprechsignal durch die zur Sendeantenne (2) benachbart angeordnete Empfangsantenne (3) erfaßt wird, und daß das Übersprechsignal nach Voraufbereitung und Digitalisierung zur Bestimmung der relativen Dielektrizitätskonstante (ϵ_r) des Mediums (13) mittels eines Algorithmus' analysiert wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß im zeitlichen Verlauf des Übersprechsignals mindestens ein Amplitudenmaximum und mindestens ein Amplitudenminimum ermittelt und zur Bestimmung der Art des untersuchten Mediums deren jeweiliges Verhältnis zu einem jeweils zugeordneten Referenzmaximum bzw. Referenzminimum gebildet wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß im zeitlichen Verlauf des Übersprechsignals (b) die Zeitdifferenz (Δt_1) zwischen zwei Maxima (B1, B2) und/oder zwei Minima ermittelt wird und zur Bestimmung der Art des untersuchten Mediums gegen eine entsprechende Zeitdifferenz (Δt_r) eines auf ein bekanntes Medium bezogenen Referenzsignals (a) verglichen wird.
4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß zur analytischen Bestimmung der Dielektrizitätskonstante ein autoregressives Modell aus dem Übersprechsignal im Zeitbereich gebildet wird, mit Transformation des digitalisierten Signals in die z-Ebene, Bestimmung der Polstellen in der s-Ebene, d. h. der fourier- oder laplacetransformierten Darstellung des digitalen, diskreten Signals und Vergleich der Frequenzwerte (ω) und/oder der Dämpfungswerte (σ) gegenüber vorgegebenen Vergleichswerten.
5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß ein autoregressives Modell zweiter Ordnung als Analyse-Algorithmus verwendet wird.
6. Elektromagnetischer Sensor zur Erkennung von Fremdkörpereinschlüssen in durch Flächen umgrenzten Medien, insbesondere Beton, Ziegelwerk, Gips, Holz oder Gasen, der mit einer während einer Erkennungsmessung auf eine Begrenzungsfläche des Mediums (13) aufzusetzenden Sende- und Empfangseinheit (10) für eine Radarwelle ausgerüstet ist, gekennzeichnet durch eine in den Sensor integrierte Einrichtung, die sicherstellt, daß nach dem Aufsetzen der Sende- und Empfangseinheit (10) auf die Begrenzungsfläche und Auslösen eines Meßvorgangs zunächst nur eine Radarwelle reduzierter Leistung über die Sendeantenne (2) in das Medium (13) eingestrahlt wird, die ausreicht, um eine Detektion des unter der Sende- und Empfangseinheit (10) befindlichen Mediums über die Bestimmung seiner Absorptionsfähigkeit für elektromagnetische Wellen nach dem in einem der vorstehenden Ansprüche definierten Verfahren durchzuführen, und die in Abhängigkeit vom Ergebnis dieser Detektion bei Überschreiten einer Mindestabsorption des Mediums eine Umschaltung auf eine Fremdkörper-Erkennungsmessung bei höherer Lei-

stung der Radarwelle bewirkt und bei Unterschreiten dieser Mindestabsorption ein Meldesignal auslöst.

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

- Leerseite -

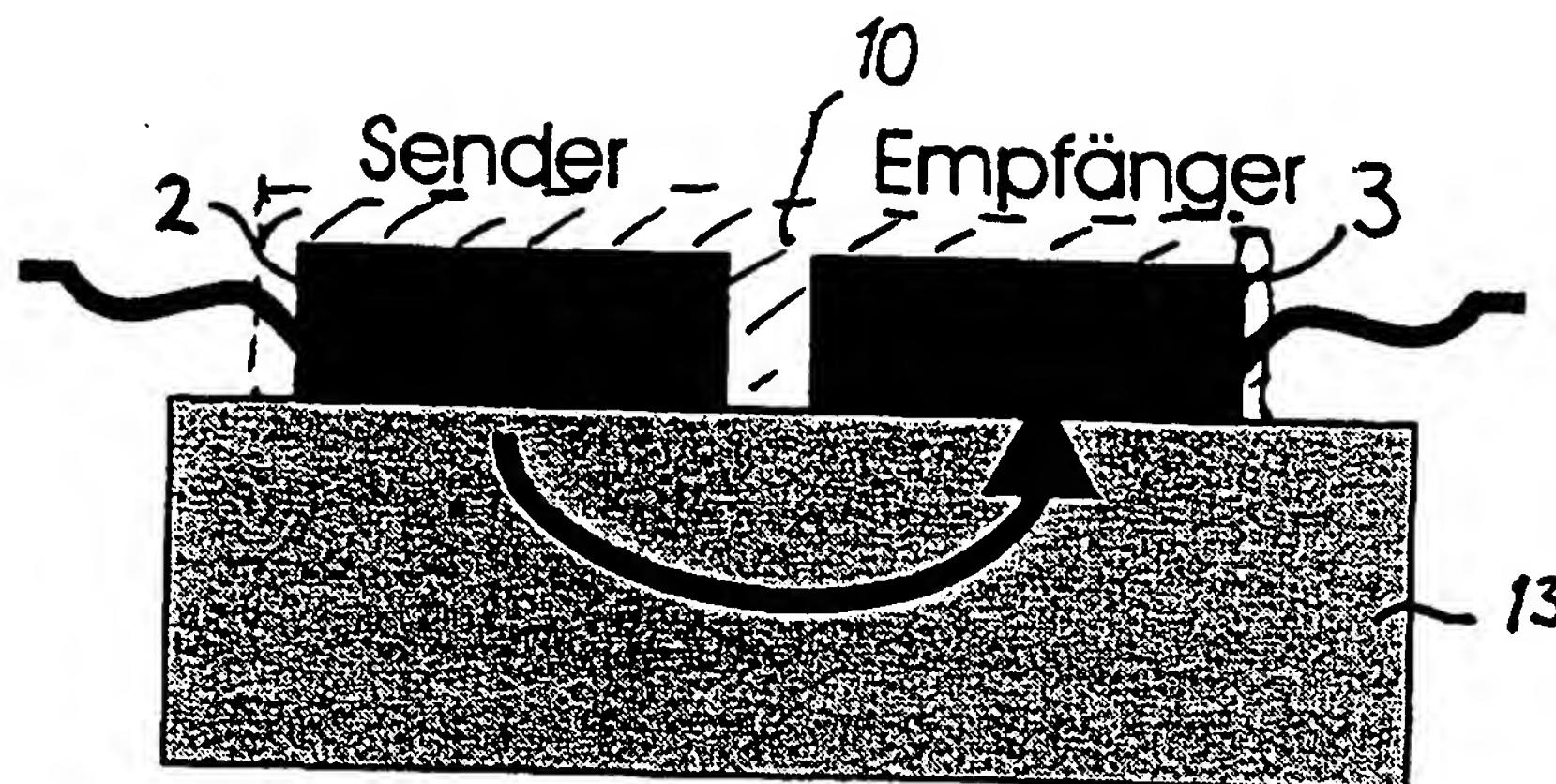


Fig. 1

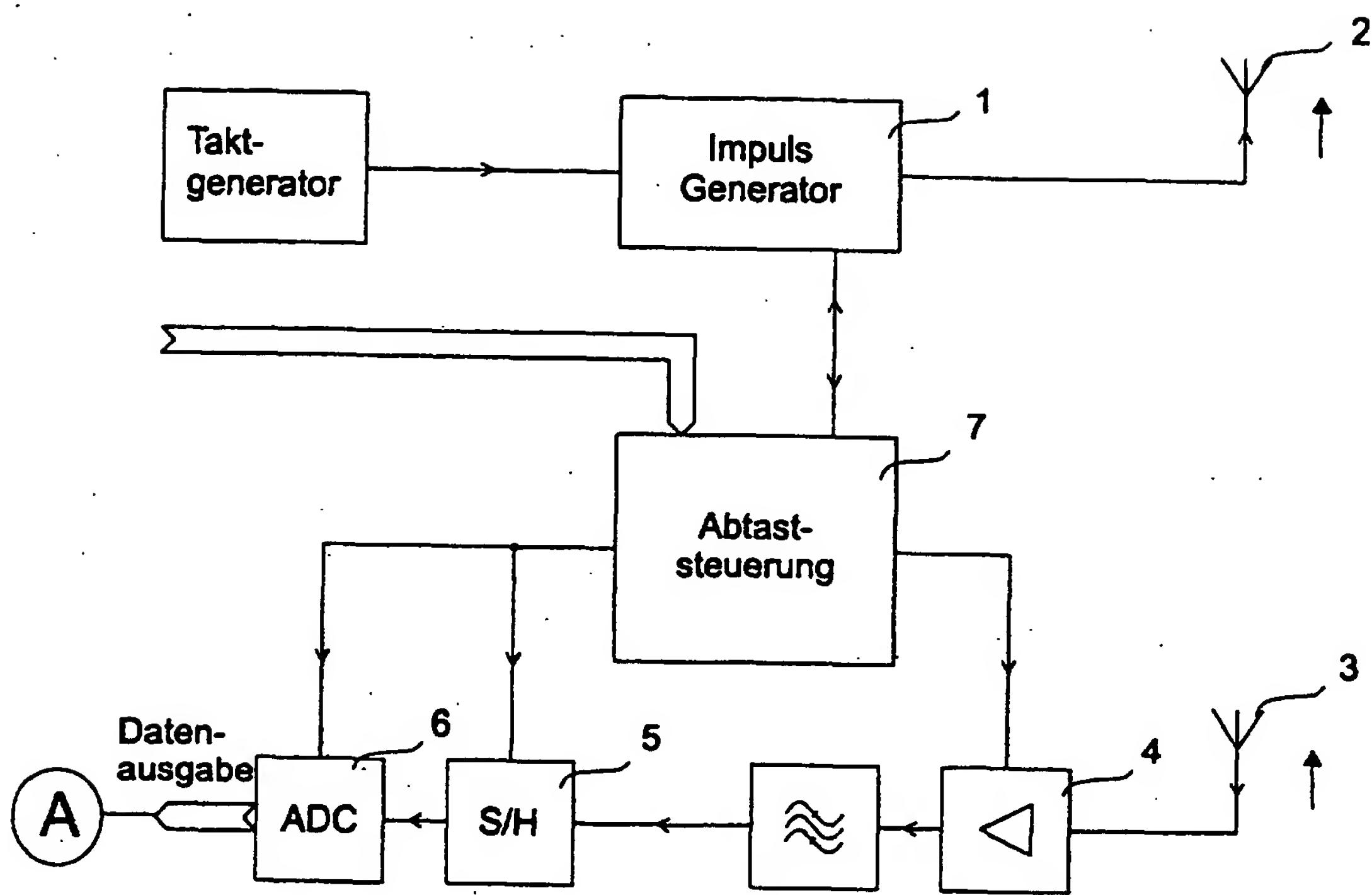


Fig. 2

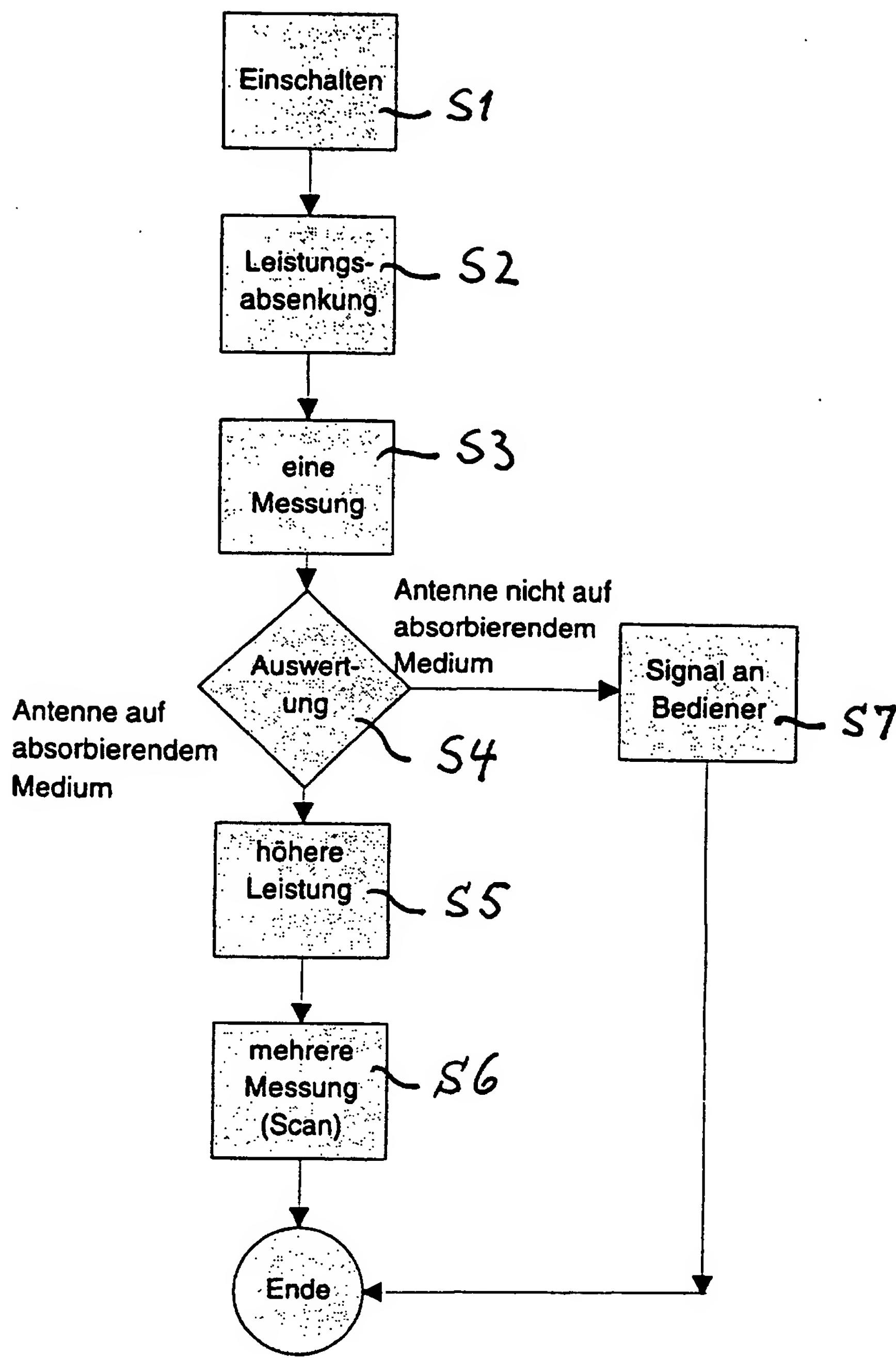


Fig. 3

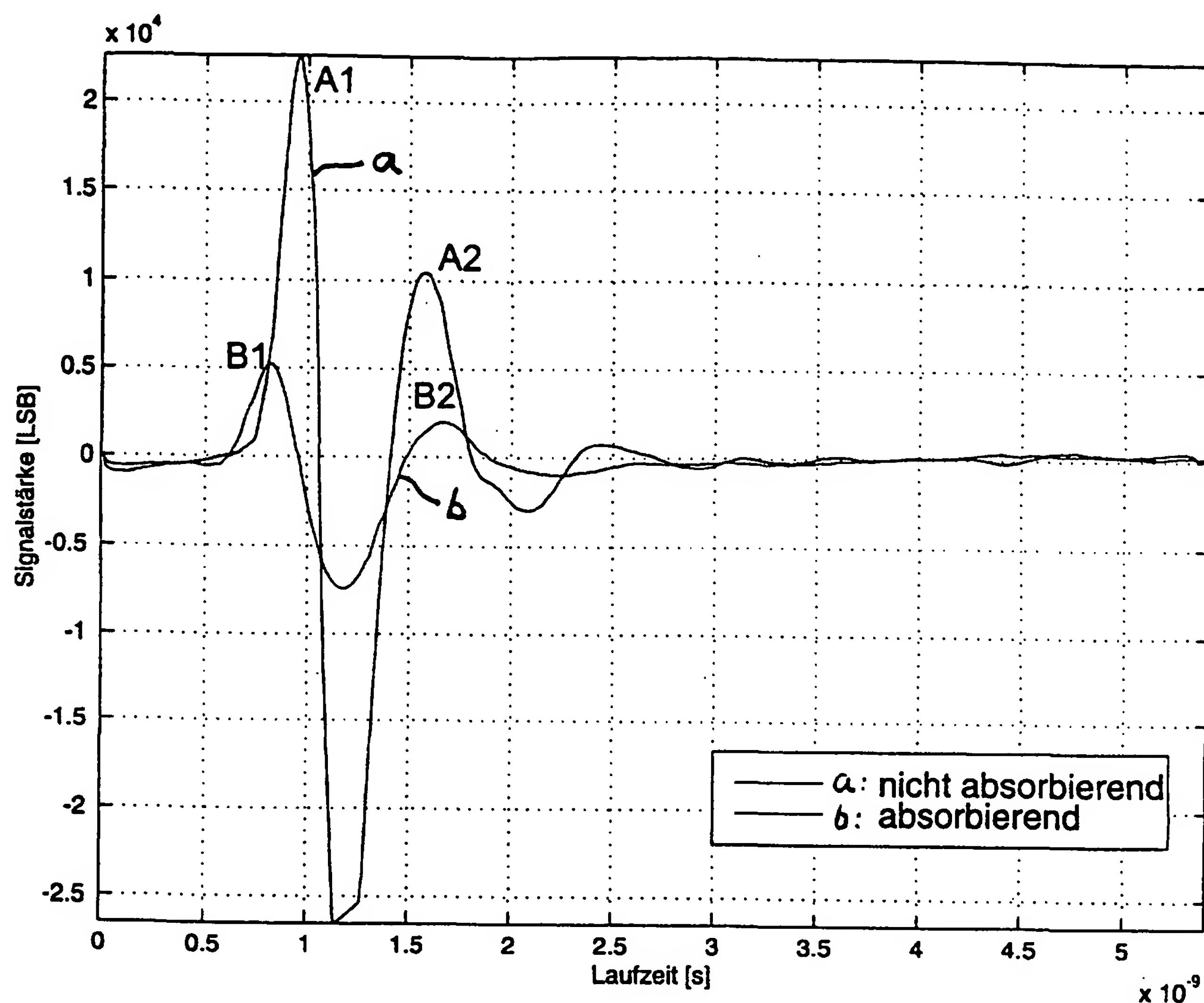


Fig. 4

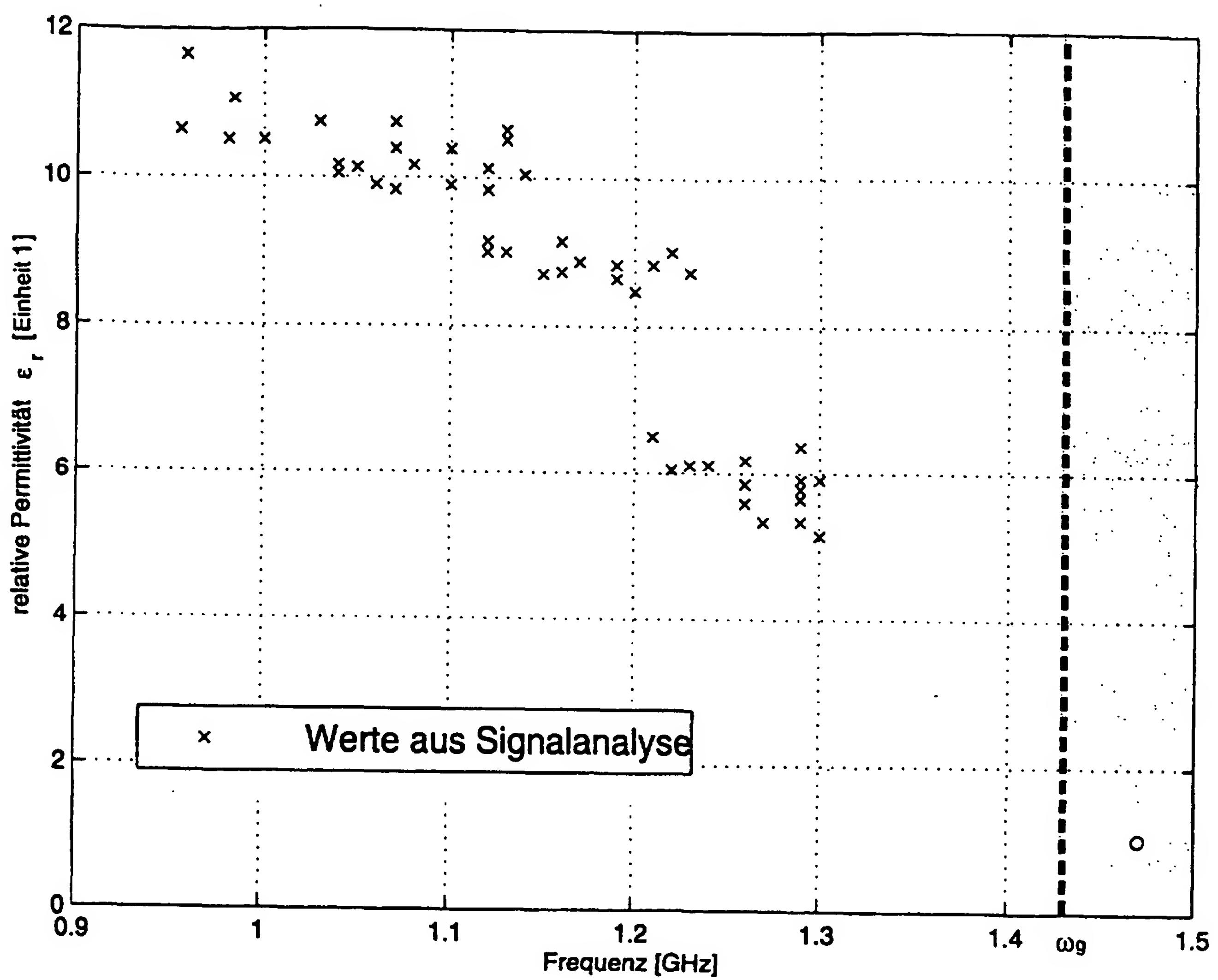


Fig. 5